



Il sistema 3GPP-LTE:

Aspetti di carattere generale e le tecniche di trasmissione

Area 2

Tecnologie per le Reti di Nuova Generazione

Responsabile Area: Ing. Francesco Matera

Autori del documento:

Ing. Massimo Celidonio

Ing. Lorenzo Pulcini

Sommario

1. Premessa.....	3
2. Caratteristiche generali del sistema 3GPP-LTE.....	4
3. Cenni sul livello fisico del 3GPP LTE e le tecniche di trasmissione.....	5
3.1 OFDM	6
3.2 OFDMA	7
3.3 SC-FDMA	8
3.4 MIMO e MRC	10
3.5 Alcuni parametri che caratterizzano lo Strato Fisico.....	12
4. Prospettive di impiego	14
5. Riferimenti.....	16

1. Premessa

La strada verso cui si stanno indirizzando le moderne tecnologie di comunicazione mobili, al fine di mantenere la necessaria competitività in un mercato che richiede sempre più capacità di fornire servizi in regime di ubiquità, mantenendo però gli stessi requisiti di velocità e di qualità di cui si disporrebbe nel proprio ambiente domestico o lavorativo, sembra già tracciata: supporto della tecnica di accesso radio OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) e convergenza verso reti packet-oriented, all-IP.

Entrambe questi requisiti, tra l'altro, forniscono una valida base su cui poter implementare tecniche MIMO (Multiple In, Multiple Out), cioè la realizzazione di trasmissioni multiple di flussi dati paralleli verso un singolo terminale, indispensabili per riuscire a raggiungere gli obiettivi prestazionali imposti dalle reti di nuova generazione.

Analizzando le prospettive di sviluppo degli standard di telefonia mobile 3G e delle tecnologie wireless a banda larga già disponibili sul mercato, si può notare come il processo di convergenza sia già in atto (vedi fig.1).

Lo stesso WiMAX Forum, successivamente al riconoscimento dello standard 802.16e (Mobile WiMAX) come appartenente alla famiglia IMT-2000, prevede che la cosiddetta “*long term evolution*” del WiMAX porterà entro il 2010 alla definizione dello standard 802.16m, le cui caratteristiche lo renderanno del tutto compatibile con i sistemi definiti IMT-Advanced, che costituiranno la base di sviluppo della quarta generazione della telefonia mobile (4G).

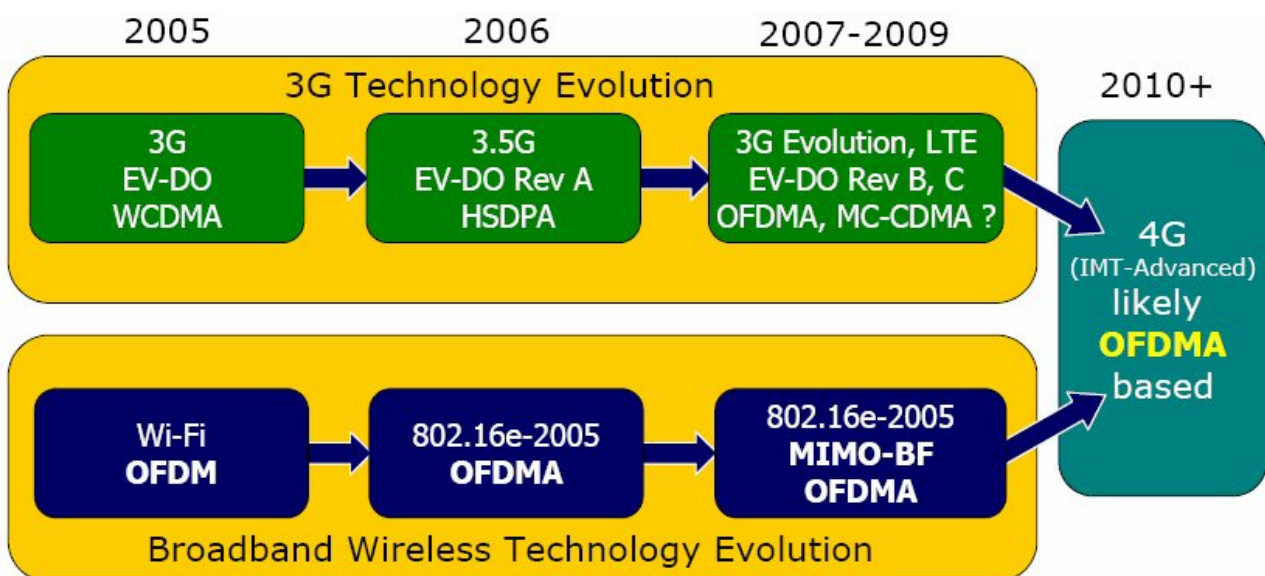


Fig. 1 – Convergenza delle tecnologie mobili (Fonte: WiMAX Forum)

In questo contesto, la tecnologia che sembra la migliore candidata per traghettare gli attuali operatori mobili fino alla quarta generazione della telefonia mobile è quella definita come Long Term Evolution, o LTE, o anche *Super 3G*.

2. Caratteristiche generali del sistema 3GPP-LTE

L'**LTE** rappresenta l'ultima evoluzione degli standard dedicati alle reti di telefonia mobile a banda larga ed è giunto alla sua definizione finale solo quest'anno, grazie all'accordo di collaborazione 3GPP (3rd Generation Partnership Project) stabilito nel dicembre 1998 tra i principali enti di standardizzazione nelle telecomunicazioni. Esso si colloca in posizione intermedia tra gli standard di terza generazione 3G e gli standard di quarta generazione 4G, ancora in fase di elaborazione, con l'obiettivo di promuovere l'uso della banda larga in mobilità, sfruttando l'esperienza e gli investimenti effettuati per le reti 3G ed anticipando i tempi rispetto alla disponibilità degli standard 4G, il cui obiettivo è quello di raggiungere velocità di connessione wireless anche superiori ad 1 Gbps.

Al momento, infatti, le migliorie previste rispetto alle tecnologie 3G sono riassumibili in:

- velocità di trasferimento dati in download fino a 100 Mbps
- velocità di trasferimento dati in upload fino a 50 Mbps
- efficienza spettrale (ovvero numero di bit/s trasmessi per ogni Hz impiegato) 3 volte superiore alla più evoluta versione dell'UMTS, ovvero l'HSPA
- basse latenze (inferiori ai 100 ms per il passaggio dallo stato *idle* allo stato *active*, ed inferiori ai 5 ms per piccoli pacchetti IP)
- supporto di almeno 200 utenti per cella con allocazioni di oltre 5 MHz di banda
- supporto ottimale della mobilità (garantita fino ai 15 km/h, con alte prestazioni dai 15 ai 120 km/h, comunque funzionale fino ai 350 km/h)
- prestazioni garantite con coperture ottenute tramite celle di 5 km, ammettendo una minima degradazione per celle di 30 km.

Ciò potrà essere ottenuto grazie all'implementazione di specifiche caratteristiche tecniche, quali:

- utilizzo della modulazione OFDM per il downlink e Single-Carrier FDMA per l'uplink;

- utilizzo di un minimo di 1.25 MHz ed un massimo di 20 MHz di banda per ciascun canale (1.25, 1.6, 2.5, 5, 10, 15, 20), allocabile con ampia flessibilità sia in uplink che in downlink;
- applicabilità flessibile a diverse bande di frequenza, incluse quelle del GSM, dell'UMTS-WCDMA e di nuove bande a 2.6 GHz, e con possibilità di aggiungere nuove bande nel tempo a seconda delle necessità;
- supporto di trasmissioni secondo la tecnica MIMO;
- supporto di schemi di modulazione QPSK, 16 QAM e 64 QAM sia in UL che in DL;
- supporto di tecniche di duplexing FDD e TDD (vedi fig. 2).

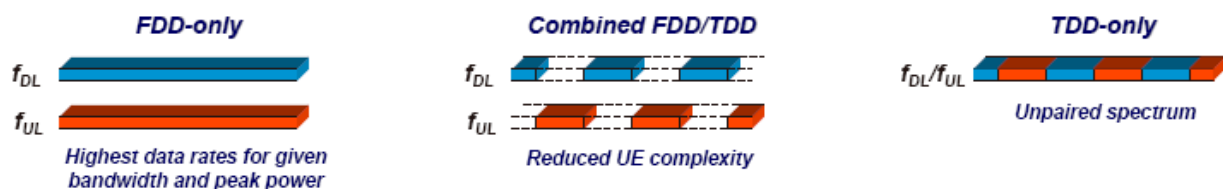


Fig. 2 – Tecniche di duplexing ammesse dallo standard (*Fonte: Ericsson*)

3. Cenni sul livello fisico del 3GPP LTE e sulle tecniche di trasmissione

Nonostante le specifiche tecniche del 3GPP LTE non siano state ancora rilasciate, alcune indiscrezioni particolarmente significative, relative allo strato fisico, stanno già emergendo.

L'LTE impiegherà, per la trasmissione di voce e dati, sia tecnologie già fortemente consolidate quali l'*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) sia altre come il *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), l'*Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) ed il *Single Carrier – Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) che solo di recente hanno avuto applicazione in alcune tecnologie radio dell'ultima generazione.

Inoltre, sebbene le specifiche dell'LTE ammettono sia la tecnica *Frequency Division Multiplexing* (FDD) che la *Time Division Multiplexing* (TDD) per separare il traffico *uplink* (UL) da quello *downlink* (DL), sembra che l'orientamento dei costruttori sia quello di sviluppare principalmente sistemi basati sulla tecnica FDD.

Prima di entrare nei dettagli tecnici relativi al livello fisico, si fornirà una breve descrizione delle caratteristiche funzionali principali delle tecnologie di trasmissione, sopra menzionate, che sono alla base dei sistemi LTE.

3.1 OFDM

Nei sistemi basati sull'OFDM, la banda disponibile viene suddivisa in tante sottobande, trasmettendo i dati su flussi paralleli. I dati trasmessi su ciascuna sottobanda vengono poi modulati, attraverso una delle modulazioni numeriche possibili (QPSK, QAM, 64QAM, ecc..), in base alla qualità del segnale ricevuto. L'impiego della tecnica OFDM nei sistemi di comunicazione ha consentito di ridurre fortemente le criticità che si determinavano quando, per raggiungere *data rates* in trasmissione più elevati, l'unica soluzione possibile sembrava quella di aumentare il symbol rate. In pratica ogni simbolo OFDM risulta essere una combinazione lineare dei segnali presenti su ciascuna sottoportante, ad un certo istante, e poiché i dati sono trasmessi in parallelo, piuttosto che in serie, i simboli OFDM sono generalmente molto più lunghi dei simboli trasmessi su sistemi *single carrier* con un equivalente data rate.

Due ulteriori peculiarità dei sistemi di trasmissione basati sulla tecnica OFDM sono che:

- ciascun simbolo OFDM trasmesso è preceduto da un prefisso ciclico (CP), ovvero da una breve replica della parte finale del segnale ottenuto dalla somma dei simboli su ciascuna sottobanda. Questa caratteristica permette di ridurre sensibilmente l'effetto prodotto dall'*Intersymbol Interference* (ISI) ovvero dell'effetto determinato dalla sovrapposizione di repliche del segnale (echi) in ricezione;
- le sottobande in cui viene suddivisa l'intera banda sono ortogonali l'una all'altra, ovvero la distanza viene scelta in modo che la risposta impulsiva della *carrier* di ciascun canale abbia un massimo laddove la risposta impulsiva delle *carrier* dei canali adiacenti hanno invece un valore nullo. Ciò determina, idealmente, un'assenza di interferenza da canale adiacente (ICI)

Un'altra caratteristica importante dei sistemi che impiegano la tecnica OFDM è che la conversione dei simboli nel segnale da trasmettere ed il viceversa si ottiene attraverso una semplice trasformata di Fourier (FFT). Nello specifico, una FFT inversa (IFFT) in trasmissione, per ottenere dai simboli associati alle singole sottoportanti il segnale da trasmettere, ed una FFT in ricezione, per ottenere dal segnale ricevuto i simboli ad esso associati in corrispondenza delle varie sottoportanti.

La tecnica OFDM tuttavia risente anche di due principali limiti:

- suscettibilità ad errori dovuti alla stabilità delle frequenze portanti, determinate sia dagli oscillatori locali che dagli *shift Doppler* (echi che provengono da oggetti in movimento);
- necessità di un elevato rapporto *peak-to-average power ratio* (PAPR), in quanto il valore istantaneo della potenza RF in trasmissione può variare in modo repentino, anche all'interno di uno stesso simbolo, determinando una riduzione dell'efficienza dell'amplificatore di potenza in trasmissione.

3.2 OFDMA

La maggiore innovazione di LTE rispetto all'attuale standard UMTS è l'utilizzo della modulazione *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) per il downlink e la *Single Carrier - Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA), una tecnologia affine alla OFDM, per l'uplink. Queste tecniche consentono di gestire il sistema con larghezze di banda del canale da 1,25 MHz a 20 MHz.

L'OFDMA è una tecnica di accesso multiplo, basata sulla modulazione OFDM, che consiste nell'assegnare a ciascun utente un sottoinsieme delle sottoportanti in cui viene suddivisa la banda disponibile per un determinato intervallo di tempo. Proprio per questa ragione a volte si usa dire che l'OFDMA può essere considerata una tecnica in cui vengono combinate la modulazione OFDM e l'accesso TDMA.

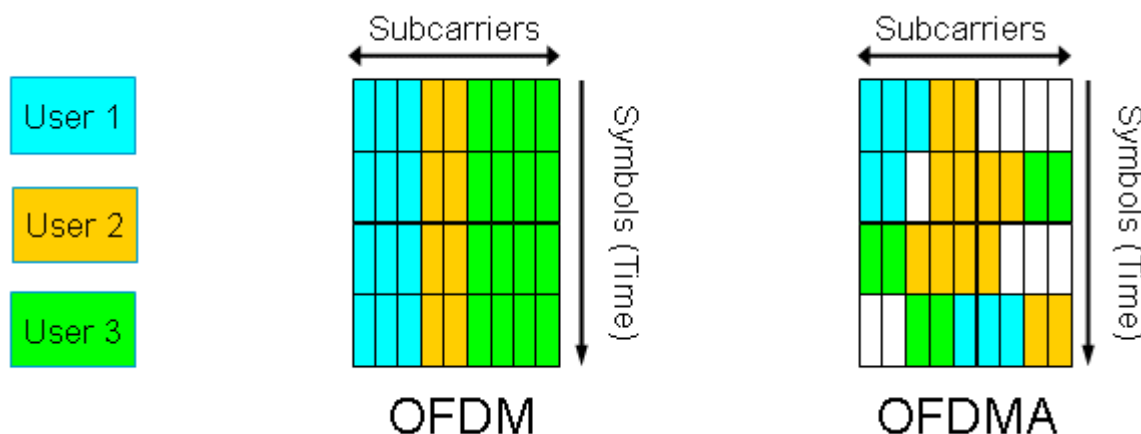


Fig. 3 – OFDM vs. OFDMA

Poiché si tratta di una tecnica di tipo adattativo, funzione della qualità del canale radio, se l'assegnazione delle sottobande viene eseguita in maniera sufficientemente veloce, consente di raggiungere prestazioni molto elevate sia dal punto di vista di robustezza alle rapide variazioni del *fading* e sia per quanto riguarda le interferenze co-canale, permettendo, allo stesso tempo, di ottenere un'efficienza spettrale particolarmente elevata, specialmente quando viene utilizzata in combinazione con le tecniche MIMO.

La caratteristica di assegnare a ciascun utente solo una porzione delle sottobande disponibili, consente di variare la potenza di trasmissione richiesta per comunicare con ognuno di essi a seconda delle necessità. Stesso discorso vale anche per la qualità di servizio (QoS) che può essere adattata a seconda del tipo di applicazione (voce, video streaming, accesso ad internet, ecc...) che l'utente intende utilizzare.

3.3 SC-FDMA

In questo tipo di sistema di accesso all'utente, come avviene per l'OFDMA, vengono impiegate una serie di sottoportanti ortogonali per trasmettere le informazioni contenute nei simboli modulati.

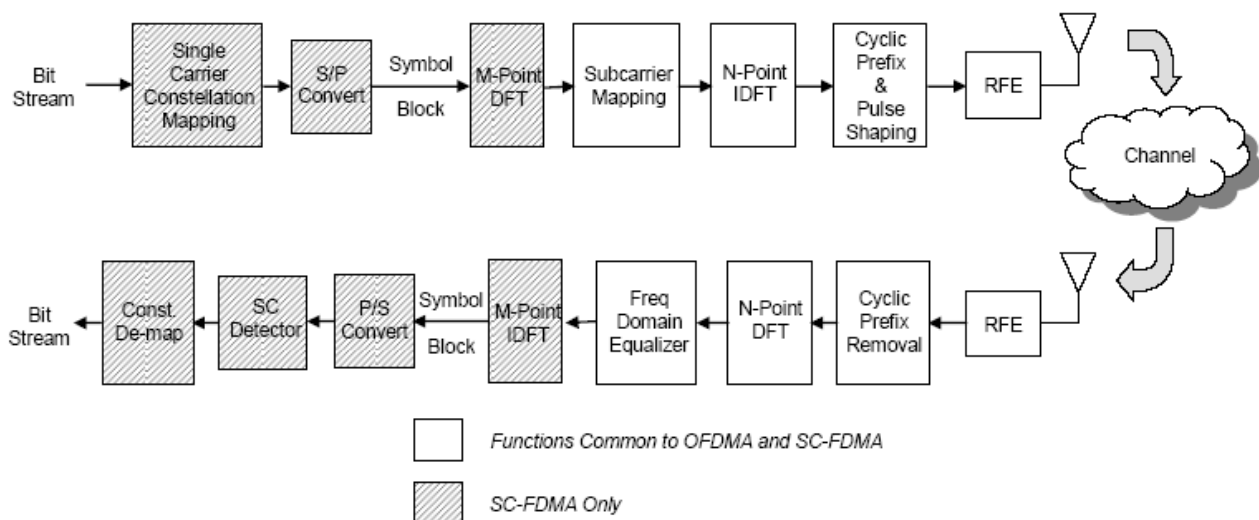


Fig. 4 – Schema a blocchi di un sistema SC-FDMA

Tuttavia, con la tecnica SC-FDMA, le sottoportanti vengono trasmesse sequenzialmente e non in parallelo (vedi fig. 5). Questo tipo di soluzione consente di ridurre considerevolmente le fluttuazioni del segnale inviluppato trasmesso, determinando un valore del PAPR molto più basso rispetto a

quello riscontrato nei segnali basati sull'OFDMA. Questa caratteristica è particolarmente importante in quanto consente di evitare l'impiego, a livello di terminale d'utente, di amplificatori di potenza con elevata linearità e bassa efficienza (misurata dal rapporto tra la potenza trasmessa e quella necessaria per l'alimentazione dell'amplificatore). D'altra parte, l'utilizzo di questa tecnica nei sistemi cellulari, intrinsecamente soggetti a propagazione caratterizzata da cammini multipli, comporta che il segnale, ricevuto in corrispondenza della stazione radio base, sia suscettibile ad interferenza intersimbolica. Per far fronte a questo problema risulta quindi necessario impiegare, a livello di stazione radio base, sistemi di equalizzazione adattativi nel dominio della frequenza che ovviamente, determinano un più elevato carico di lavoro di elaborazione nonché maggiori costi di implementazione che però graveranno principalmente sull'operatore.

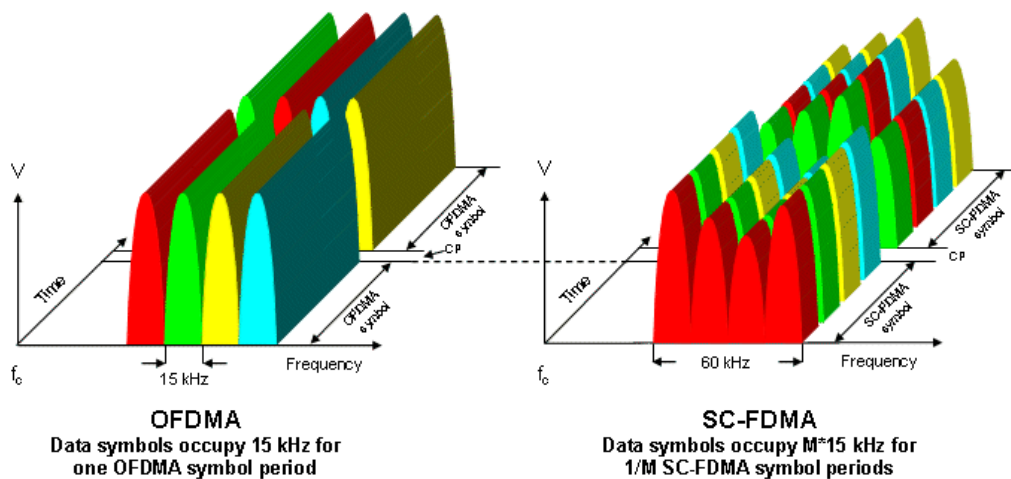


Fig. 5 – Confronto tra OFDMA e SC-FDMA

Dal punto di vista dell'assegnazione delle sottoportanti per l'accesso all'utente ci sono due differenti approcci: il SC-FDMA localizzato (LFDMA) ed il SC-FDMA distribuito (vedi fig.6).

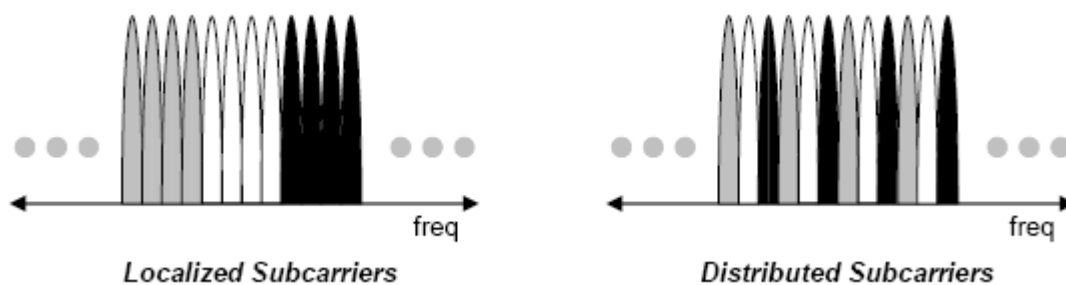


Fig. 6 – Le soluzioni LFDMA e IFDMA

Nell'approccio LFDMA ogni terminale usa, per trasmettere le informazioni, un insieme di sottoportanti adiacenti. In sostanza è come se a ciascun utente venisse assegnata una specifica porzione di banda per la comunicazione con la stazione radio base. L'approccio alternativo è quello distribuito di cui, una possibile realizzazione, è quella denominata *Interleaved* FDMA (IFDMA). In questo caso le singole sottoportanti assegnate a ciascun utente sono a distanza prefissata e sono intervallate con quelle assegnate agli altri utenti. Questo secondo approccio risulta maggiormente immune rispetto agli errori di trasmissione, in quanto l'informazione da trasmettere viene distribuita sull'intera banda disponibile.

3.4 MIMO e MRC

A livello fisico i sistemi LTE possono, opzionalmente, impiegare più *transceivers* sia in corrispondenza della stazione radio base che del terminale utente, per migliorare la robustezza del collegamento ed incrementare la capacità dati trasmessa. Le tecniche utilizzate sono la *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) e la *Maximal Ratio Combining* (MRC).

La tecnica MRC viene usata per migliorare l'affidabilità del collegamento in condizioni di propagazione critiche quando l'ampiezza del segnale è bassa e si è in presenza di cammini multipli. La tecnica MIMO, invece, viene usata principalmente per ottenere migliori prestazioni in termini di velocità di trasmissione.

Un sistema convenzionale dotato di ricevitore con antenne multiple non è sufficiente per poter supportare le tecniche MRC/MIMO. Infatti la caratteristica peculiare di questi sistemi è quella di prevedere, oltre ad antenne multiple, anche *transceivers* multipli. Nel caso della tecnica MRC il segnale viene ricevuto mediante due o più sistemi antenna/*transceivers*, spazialmente separati tra loro, e, quindi, caratterizzati da diverse risposte impulsive. Il processore esegue l'equalizzazione del canale in modo distinto sui segnali ricevuti per poi combinarli in un unico segnale composito (vedi fig.7). Operando in questo modo, mentre i segnali ricevuti vengono combinati in modo coerente, il rumore termico introdotto da ciascun transceiver risulta non correlato determinando, nel caso di un ricevitore MRC a due canali, un incremento complessivo del rapporto segnale/rumore (SNR) di 3dB. A questo aspetto positivo va ovviamente aggiunto quello relativo alla separazione spaziale dei due ricevitori che riduce fortemente gli effetti legati al *fading* selettivo dovuto ai cammini multipli, migliorando complessivamente la qualità del segnale ricevuto.

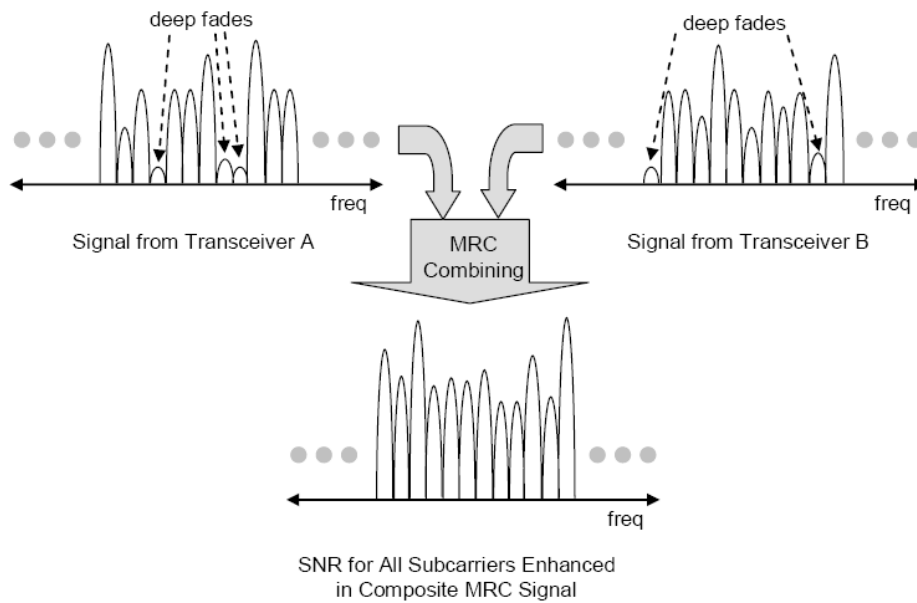


Fig. 7 – Esempio di applicazione della tecnica MRC

L'utilizzo della tecnica MIMO consente invece, come detto, di incrementare il *data rate* complessivo del sistema di trasmissione, conseguito attraverso l'utilizzo di antenne multiple in trasmissione ed in ricezione. Per poter ottenere questo risultato il ricevitore deve calcolare la risposta impulsiva del canale che caratterizza ciascuna antenna trasmittente. Nei sistemi LTE questo risultato si realizza trasmettendo, da ognuna delle suddette antenne ed in modo sequenziale (non sovrappontesi), opportuni segnali di riferimento. In pratica, in un sistema MIMO 2x2, andranno calcolate di volta in volta 4 risposte impulsive del canale (vedi fig.8). Una volta che sono note le risposte impulsive, i dati potranno essere trasmessi anche in simultanea su entrambe le antenne. La combinazione lineare dei due flussi di dati alle due antenne riceventi dà luogo ad un insieme di due equazioni in due incognite che si possono risolvere per ricavare i due flussi dati originali.

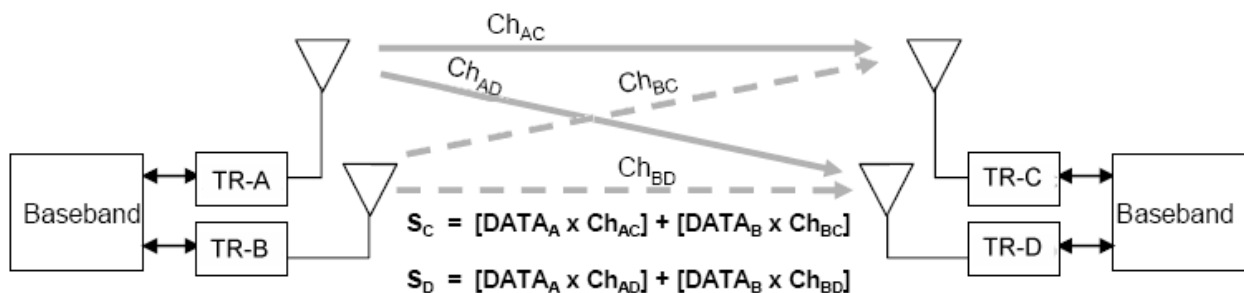


Fig. 8 – Esempio di applicazione della tecnica MIMO

3.5 Alcuni parametri che caratterizzano lo Strato Fisico

In questo paragrafo si riporteranno, sulla base delle conoscenze attuali delle specifiche sui sistemi 3GPP LTE, alcuni parametri caratteristici del livello fisico.

Downlink

Le comunicazioni tra la stazione radio base e il terminale utente impiegano la modulazione OFDM e l'OFDMA come tecnica di accesso. Le larghezze di banda ammesse variano da 1,25MHz a 20MHz. La distanza tra le sottoportanti è di 15KHz, con la possibilità di adottare anche la 7.5KHz in alcune specifiche applicazioni.

La generica struttura di un frame LTE è riportata in figura 9.

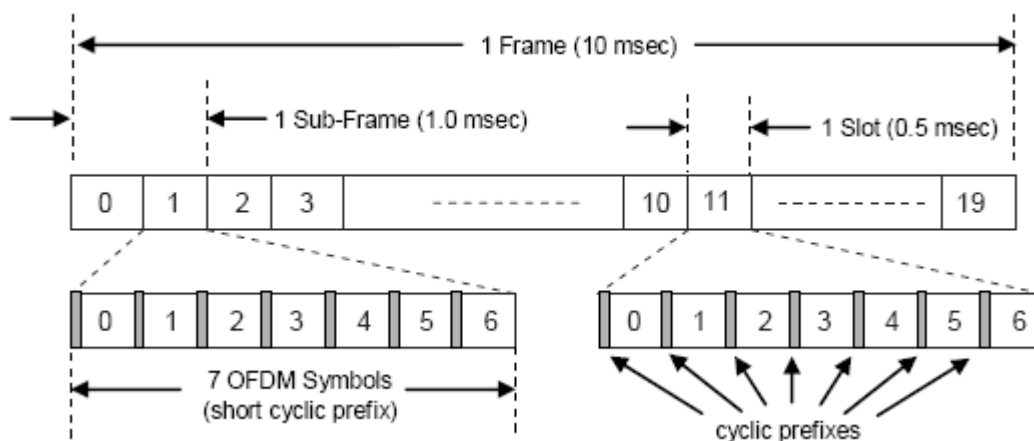


Fig. 9 – Struttura di un frame LTE

I frame LTE hanno una durata di 10ms. Sono suddivisi in 10 sottoframe, ognuno della durata di 1ms. Ogni sottoframe è suddiviso in 2 slot di pari durata (0.5ms). Gli slot consistono di 6 o 7 simboli OFDM a seconda che venga impiegata la soluzione a prefisso ciclico normale o quella a prefisso ciclico esteso.

Il numero minimo di sottoportanti contigue (Physical Resource Block – PRB) che lo scheduler è in grado di assegnare all'interno di ciascuna slot è pari a 12.

In tabella 1 sono riassunti i parametri caratteristici di modulazione OFDM previsti nell'LTE.

Transmission BW	1.25MHz	2.5MHz	5MHz	10MHz	15MHz	20MHz	
Sub-frame duration	0.5ms						
Sub-carrier spacing	15KHz						
Sampling Frequency	192MHz (1/2x3.84MHz)	3.84MHz	7.68MHz (2x3.84MHz)	15.36MHz (4x3.84MHz)	23.04MHz (6x3.84MHz)	30.72MHz (8x3.84MHz)	
FFT size	128	256	512	1024	1536	2048	
OFDM symbols per slot (short/long Cyclic Prefix)	7/6						
CP lenght (usec/samples)	Short	(4.69/9)x6, (5.21/10)x1	(4.69/18)x6, (5.21/20)x1	(4.69/36)x6, (5.21/40)x1	(4.69/72)x6, (5.21/80)x1	(4.69/108)x6, (5.21/120)x1	(4.69/144)x6, (5.21/160)x1
	Long	(16.67/32)	(16.67/64)	(16.67/128)	(16.67/256)	(16.67/384)	(16.67/512)

Tabella 1

Le modulazioni numeriche previste sono la QPSK, la 16QAM e la 64QAM.

In relazione alla tecnica MIMO sono previste le seguenti configurazioni:

- 1 x 1;
- 2 x 2;
- 4 x 2;
- 4 x 4.

Per quanto riguarda la codifica di canale, non si conosce ancora quali saranno le scelte che verranno adottate anche se, sembra, si utilizzerà la codifica convoluzione per i canali di controllo e la turbo codifica per il trasporto delle informazioni.

Uplink

Per la trasmissione dei dati dal terminale alla stazione radio base l'LTE adatterà come sistema di accesso il SC-FDMA.

Nel caso di adozione della tecnica di duplexing FDD, l'uplink adotta la stessa struttura di frame considerata per il downlink. Anche la spaziatura tra le sottoportanti rimane la stessa, pari a 15KHz, ed il numero minimo di sottoportanti adiacenti (PRB) assegnate all'interno di una *slot* è pari a 12. Rimangono gli stessi già analizzati nel downlink anche i parametri di modulazione (vedi tabella 1).

In uplink i dati vengono mappati su costellazioni QPSK, 16QAM e 64QAM a seconda della qualità del canale. Tuttavia, a differenza dell'OFDM, invece di usare i simboli mappati per modulare direttamente le sottoportanti, in questo caso, i simboli, vengono prima trasformati da un flusso seriale ad un flusso parallelo e subito dopo trasformati nel dominio della frequenza attraverso un blocco FFT, ottenendo come risultato una sequenza discreta di simboli. Successivamente tali simboli vengono associati alle rispettive sottoportanti e quindi riconvertiti nel tempo attraverso una IFFT.

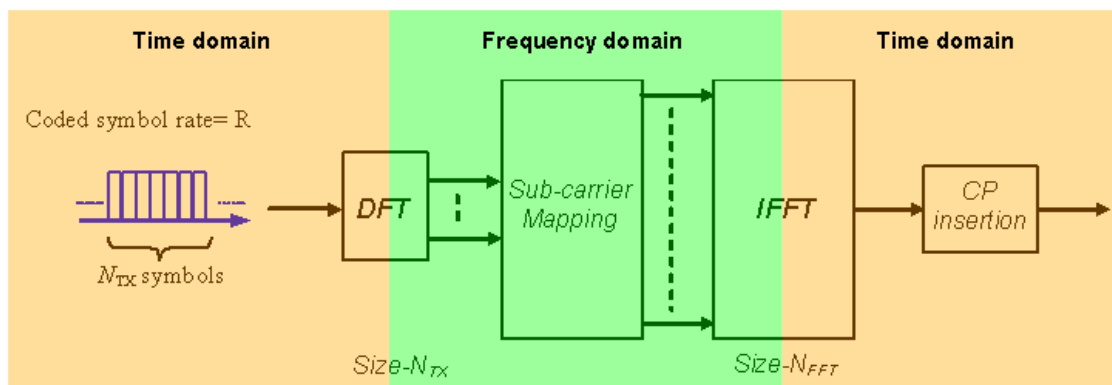


Fig. 10 – Dettaglio della Modulazione SC-FDMA

4. Prospettive di impiego

A seguito dell'analisi tecnica condotta, e volendo provare a gettare uno sguardo verso il futuro, si può facilmente immaginare come l'introduzione dello standard LTE nel panorama delle tecnologie mobili a banda larga potrà introdurre un radicale miglioramento nelle capacità degli operatori di fornire servizi a valore aggiunto con requisiti di qualità, latenza e banda necessaria sempre più stringenti, ma con una gradualità, insita nella scelta dei parametri e delle procedure attuati per la sua standardizzazione, che ne fa il vero punto di forza.

Proprio la caratteristica di essere un'evoluzione del 3G, infatti, ne facilita la coesistenza con altre tecnologie (HSPA, UMTS, GSM/EDGE, ecc.), permettendo, nella fase iniziale di migrazione da una rete tradizionale 3G ad una rete completamente LTE, di mantenere una linea di continuità nell'erogazione di servizi all'utenza, rendendo attuabile la possibilità di *upgradare* la rete operando per singoli segmenti, se non addirittura per singole celle radio.

Per i consumatori, lo sviluppo di LTE si tradurrà nella disponibilità di nuovi servizi a banda larga mobile su protocollo IP, incluso il VoIP, offerti su reti SIP-enabled.

Ai vendor, invece, LTE permetterà lo sviluppo di un nuovo mercato in grado di bilanciare il declino dei profitti 3G. Per gli operatori, una rete all-IP con architetture flat semplificate ridurrà notevolmente i costi di gestione dando impulso ai profitti.

Lo standard, tuttavia, deve affrontare la concorrenza di altre tecnologie wireless a banda larga e deve perciò dimostrare di poter generare concreti vantaggi tecnici ed economici per convincere gli operatori a supportarlo.

Tra gli antagonisti di LTE è facile individuare lo standard WiMAX, che tuttavia, pur essendo in vantaggio di almeno due anni in termini di sviluppo, soffre il fatto di non essere compatibile con l'UMTS come lo è LTE.

Un operatore che intenda impiegare il WiMAX, infatti, ha bisogno di realizzare una rete ex-novo indipendente, ed anche in caso di impiego di apparati *dual-mode*, capaci cioè di operare con due diverse tecnologie, il passaggio dalla zona di copertura dell'una verso l'altra, provocherebbe una interruzione della connessione, inaccettabile soprattutto per i servizi vocali.

Attualmente, vista anche la possibilità della tecnologia di utilizzare le infrastrutture di rete 3G esistenti e le sue migliori performance, l'LTE sembra più promettente, sebbene il suo reale impiego non è previsto almeno fino al 2010-2012 (NTT DoCoMo ha intenzione di commercializzarla nel 2009), mentre la tecnologia WiMAX è tuttora disponibile.

La questione è che questi due nuovi standard mirano ad un target di potenziali clienti molto simile e questo fa sì che ci sia un inevitabile scontro. Gli interessi economici e politici dei soggetti schierati da una parte o dall'altra fanno il resto.

In tale dibattito, acquista notevole peso la voce di chi sostiene sia reale e concreta la possibilità di integrare ed armonizzare i due standard con lo scopo di costituire una base comune per il futuro standard di quarta generazione. Secondo tale tesi, infatti, risulta tecnicamente possibile creare un chipset capace di implementare entrambe gli standard, grazie alla constatazione che risultano simili per l'80%.

Un parametro fondamentale che occorre considerare nella definizione di un tale chipset, però, è certamente la sua efficienza in potenza che va ad incidere sulla durata delle batterie del terminale, aspetto determinante in apparati che, dovendo sostenere tecnologie in grado di fornire capacità di molti megabit al secondo, richiedono un notevole sforzo computazionale, che si traduce in un più alto consumo di potenza.

Al riguardo, infatti, occorre notare che entrambe implementano l'OFDMA in downlink, ma mentre il WiMAX continua ad impiegare l'OFDMA per l'uplink, LTE utilizza l'SC-FDMA, che comporta

un più basso rapporto potenza di picco-potenza media a parità di potenza erogata dal trasmettitore (circa 5 dB dell’LTE contro i circa 10 dB del WiMAX; cioè più del doppio!), e quindi con un risparmio nel tempo di utilizzo delle batterie.

Tali considerazioni incidono fortemente sulle scelte degli investitori, i quali potrebbero trovare poco attraente l’opportunità di investire notevoli capitali su una rete che sia dedicata ad un solo standard, anche se di immediata fruibilità, piuttosto che su di una rete capace di supportare entrambe gli standard, a fronte di un’attesa temporale comunque contenuta.

5. Riferimenti

- [1] J. Zyren, “Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer”, Freescale Semiconductor, Luglio 2007;
- [2] M. Rumney, “SC-FDMA – The new LTE uplink explained”, EuMW 2007 Agilent Workshop, Marzo 2008;
- [3] Hyung G. Myung, “Technical Overview of 3GPP LTE”, Polytechnic University of New York, Maggio 2008;
- [4] Erik Dahlman et alii, “The Long Term Evolution of 3G”, Ericsson Review n.2, 2005;
- [5] Hyung G. Myung et alii, “Peak-to-average Power Ratio of Single Carrier FDMA Signals with Pulse Shaping”, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'06), September 2006;
- [6] Hyung G. Myung et alii, “Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission”, IEEE Vehicular Technology Magazine, September 2006;
- [7] “WiMax and IMT-2000”, WiMax FORUM, Gennaio 2007;
- [8] “UTRA-UTRAN Long Term Evolution (LTE) and 3GPP System Architecture Evolution (SAE)”, www.3gpp.org/Highlights/LTE/lte.htm, Maggio 2008